



Title	高負荷し尿処理施設における生物反応熱の回収と床暖房システムへの応用
Author(s)	高島, 渉; 中野, 孝二; 神代, 博志 他
Description	第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 空調・エネルギー . 4-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 149-152
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7601
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-4-6_p149-152.pdf



4 - 6

高負荷し尿処理施設における生物反応熱の回収と床暖房システムへの応用

高島 渉 (住友重機械工業株式会社)
中野孝二 (")
神代博志 (")
青井 透 (群馬工業高等専門学校)

1. はじめに

し尿の処理過程においては、BODの酸化分解及び硝化・脱窒反応に伴う生物反応熱や、曝気装置に起因する発熱が定常的に発生している。標準脱窒素処理では、し尿を常温水で10倍近く希釈して処理するため、反応槽内の液温上昇は顕著なものとはならない。しかし、高負荷処理では、通常無希釈で処理を行うため、反応槽内の液温上昇は大きく、微生物の活動に適した温度範囲を超えるため、冷却装置を設置する必要がある。回収された発生熱は、冷却塔で放熱されるケースが大半であるが、筆者らは回収熱の有効利用について検討を行い、静岡県掛川市のし尿処理施設において適用した。

掛川市は、生涯学習都市宣言を行っており、し尿処理施設も単なる処理施設ではなく、市民の学習の一助とするため、施設名称を生物循環パビリオンとしている。施設内には生物の循環する営みを学習できるよう、各種説明パネル、学習ルーム、温室等を設けて、施設全体をパビリオン化している。表1に施設の概要を示す。

熱回収システムは、処理設備の必須設備であるドラフトチューブを利用し、回収熱はパビリオン温室の暖房源として有効利用している。その熱交換システムの概要について以下に示す

表1 掛川市生物循環パビリオンの概要

処理方式	高負荷脱窒素処理+高度処理(砂ろ過、活性炭吸着)		
計画処理量	し尿: 12 kQ/日	建屋面積	処理部: 2,008 m ²
	浄化槽汚泥: 72 kQ/日		管理部: 250 m ²
	計: 84 kQ/日		学習ゾーン: 542 m ²
			計: 2,800 m ²
竣工	平成6年3月		

2. ドラフトチューブ型熱交換器の概要

冷却塔からの冷却水と反応槽の混合液との熱交換を行う熱交換器には様々なタイプがあるが、スパイラル型熱交換器に代表される槽外型のものが一般的である。

図-1に代表的なフローを示す。

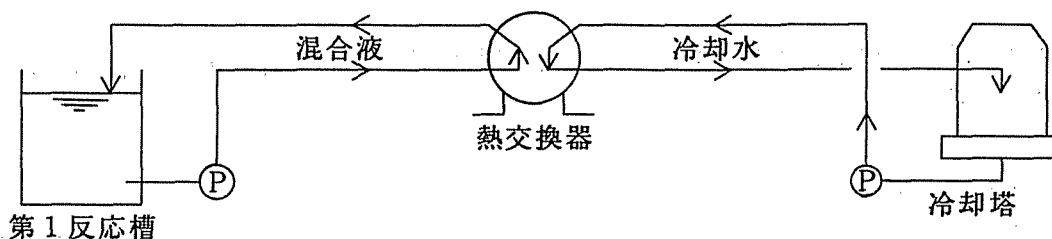


図-1 槽外型熱交換器（スパイラル型）を用いた代表的フロー

一方、弊社高負荷処理の第1反応槽には、水中軸流ポンプとドラフトチューブの組み合わせによる曝気装置¹⁾を設置しているため、このドラフトチューブを利用して槽内型熱交換器とした。このドラフトチューブの形状は、内径450mm、高さ4,500mmの二重管構造である。

図-2、図-3にその構造及びフローの概要を示す。

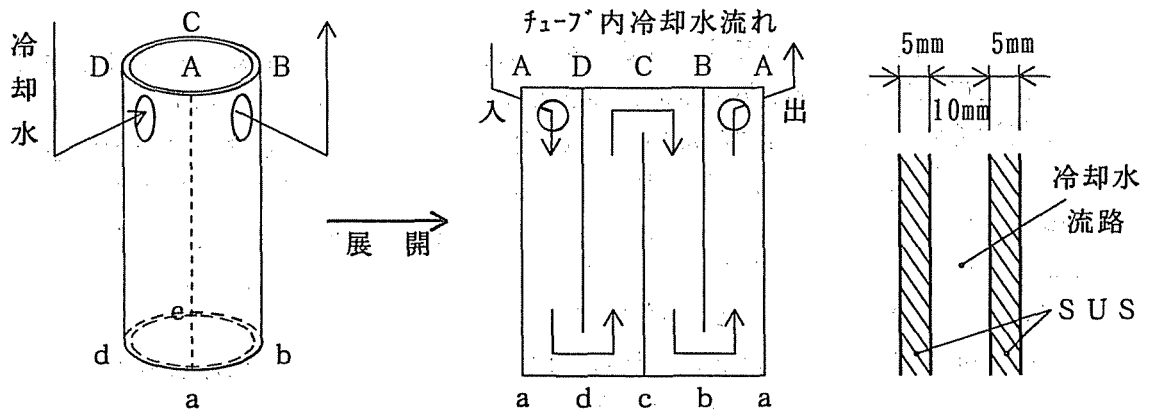


図-2 ドラフトチューブ熱交換器の構造

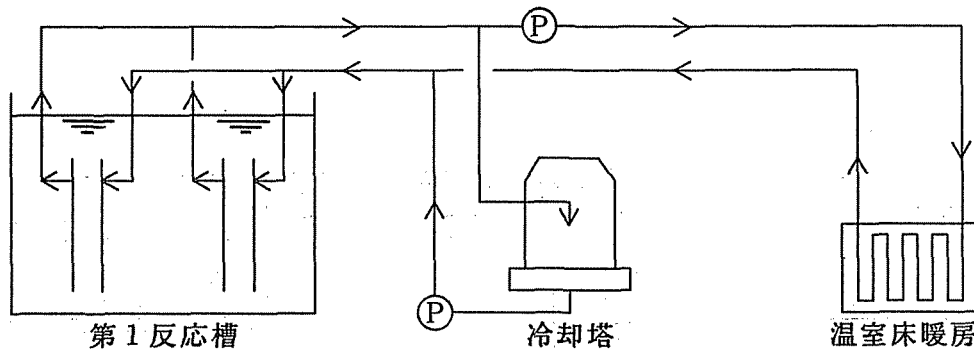


図-3 ドラフトチューブ熱交換器を用いたフロー

図2は、チューブをA-aで切断し、展開した姿を表している。内部には、90度おきに仕切板を設け流路を作っている。尚、流路には所々にディスタンスピースを配置し、冷却水の流れに乱れを生じさせると共に、二重管を補強している。管の材質はSUSで、厚さは外側、内側共に5mm。冷却水流路の間隔は10mmである。

第1反応槽内には3台の曝気装置を設置しているが、3本のドラフトチューブの内の2本を熱交換器にしている。2本の熱交換器は、伝熱面積、通水時流量等全く同じになるように設計されている。

3. ドラフトチューブ型熱交換器の性能の検討

冷却水の流量及び交換器入口、出口の各温度、混合液の交換器入口、出口の各温度が判

れば、熱交換器としての総括伝熱係数（U）は(1)式により求めることができる。²⁾

$$U = \frac{Q \times (t_2 - t_1) \times c \times \rho \times 10^3}{S \times \left[\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\log(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \right]} \quad (\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{deg}) \dots (1)$$

Q	: 冷却水流量	(m ³ /h)
S	: 熱交換面積	(m ²)
t ₁	: 冷却水入口温度	(°C)
t ₂	: 冷却水出口温度	(°C)
ΔT ₁	: 冷却水/混合液入口温度差	(deg)
ΔT ₂	: 冷却水/混合液出口温度差	(deg)
c	: 冷却水比熱	(cal/g·deg)
ρ	: 冷却水密度	(kg/m ³)

(1)式において、熱交換面積はドラフトチューブ内面のみとした。平均温度差は、下記の理由により、反応槽混合液温度、冷却水出入口温度より算出した。

- ① 混合液のチューブ内の流量が冷却水流量に比べて極めて大きいため、混合液のドラフトチューブ出入口温度はほぼ同じになる。
- ② 冷却水側は、4パスであるが1パスとみなしても大差無く、補正していない。

従って、冷却水流量、入口、出口各温度、第1反応槽内混合液温度を測定し、(1)式を使ってドラフトチューブ型熱交換器の総括伝熱係数を算出した。

表2にその結果を示す。

表2 測定結果

日 時	反応槽 温度(°C)	冷 却 水			総括伝熱係数(U) (Kcal/m ² ·h·deg)	冷却塔
		入口温度 (°C)	出口温度 (°C)	流 量 (m ³ /h)		
3/12 09:50	34.90	18.9	28.5	12.5	1,810	ON
3/12 11:25	34.20	18.5	27.5	12.4	1,695	ON
3/15 14:10	33.30	30.0	31.5	12.8	1,229	OFF
6/14 16:50	36.20	29.5	33.3	11.3	1,491	ON
6/22 14:50	34.80	25.8	31.0	11.0	1,494	ON

測定は、冷却水の流れ、冷却塔の運転等が定常になり、系全体が安定してから行った。3/12、6/14及び6/22は、冷却塔運転下でのデータであるが、3/15のデータは、冷却塔を休止させて測定した。

総括伝熱係数の算出については、チューブの内面のみで熱の交換が行われるものと仮定し、熱交換面積Sは、φ0.45×π×L4.5=6.35m²とした。実際には、チューブの外側で

も熱の授受が行われていることと、混合液の流量、粘度が正確に測定できないことから、U値の正確な比較ができないが、スパイラル型熱交換器の総括伝熱係数が、800～1,500 (Kcal/m²・h・deg)であることから、性能的に同等もしくはそれ以上の結果であることが判る。

84kL/日の高負荷処理施設にこのサイズのドラフトチューブ型熱交換器2本を用いれば、従来のスパイラル型熱交換器と同等の性能が得られることが判った。

4. 床暖房システム

ドラフトチューブ型熱交換器で回収された発生熱の内、必要量は施設内の温室の床コンクリート内に埋設されたパイプに温水を通水して、床暖房の熱源として利用し、余剰熱量は冷却塔へ送り、放熱している。表3に床暖房設備の概要を示す。

表3 床暖房の概要

温室面積 : 84 m ²	パイプ本体材質 : ポリエチレン
暖房容積 : 840 m ³	パイプ径 : 内径 16.5mm 外径 21.5 mm
床暖房敷設面積 : 52 m ²	温水循環ポンプ : 110 ℓ/分×10m×0.4kW

床暖房の計画に当たって、設備メーカーの実績では、送水温度－床表面温度＝10℃程度が適していると言われる。また、冬場に室温15℃を確保するには床表面温度を20℃に保つ必要がある。

表-2 (3/15) より、床暖房を必要とする時期には、冷却塔を休止して温水循環のみ行うと、上記条件に合致することが判る。

ただし、これは3月のデータであり、厳寒期での運転状況は把握していないが、現在のところは、支障無く床暖房できており、温室内には、種々の熱帯植物を配し、市民の目を楽しませている。

5. まとめ

①ドラフトチューブ型熱交換器の総括伝熱係数 (U値) が、1,400～1,800 (Kcal/m²・h・deg) で得られた。

②回収した熱は床暖房の熱源として、利用可能である。

今後は、このようなエネルギーの有効利用について、種々研究を重ねて行く所存である。

引用文献・参考文献

- 1) 青井 透、岡庭良安、野池達也 (1993) : 深層式曝気槽における下向流水中軸流曝気装置の酸素移動特性の検討、下水道協会誌論文集、30、No.357、p30～40
- 2) 化学工学協会 (1974) : 化学工学便覧、伝熱および熱交換器、p213